

## 5- Observation des minéraux anisotropes en lumière convergente

### 6.1. Dispositif adopté pour l'examen des minéraux en lumière convergente

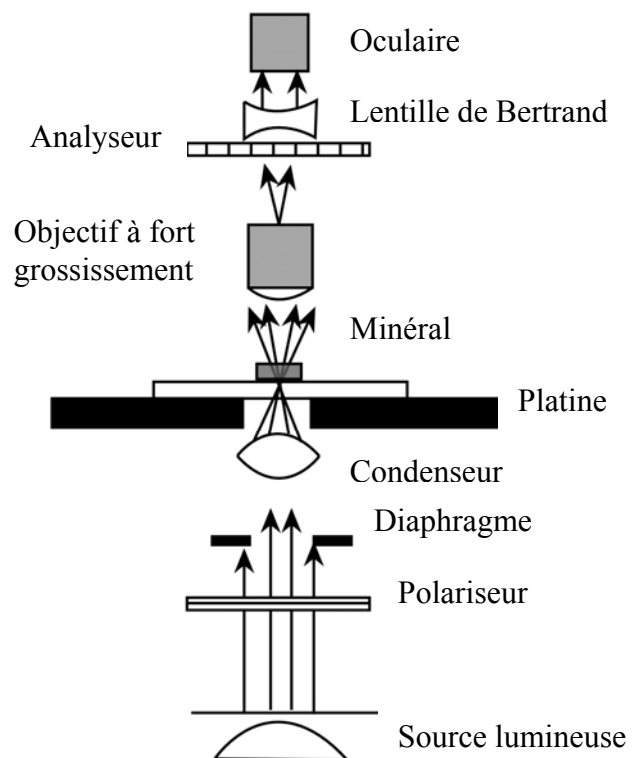
Pour l'observation des minéraux au microscope en lumière convergente, on opère de la manière suivante :

1. Superposer le condenseur au polariseur et l'amener exactement en contact avec la face inférieure de la lame mince.
2. Mettre au point la préparation avec l'objectif le plus fort.
3. Placer la lentille de Bertrand (cette lentille est située entre l'analyseur et l'oculaire).
4. Placer l'analyseur (observation en LPA).

L'examen de sections particulières des minéraux uniaxes ou biaxes en lumière convergente montre des figures appelées : **figures d'interférences** ou **figures de convergence**.

L'étude des minéraux anisotropes en lumière convergente permet essentiellement :

- de déterminer la classe optique des minéraux anisotropes (uniaxe ou biaxe).
- de déterminer le signe optique des minéraux uniaxes et biaxes.
- d'estimer l'angle  $2V$  des minéraux biaxes.



**Figure 1 :** Dispositif utilisé pour l'observation des minéraux en lumière convergente

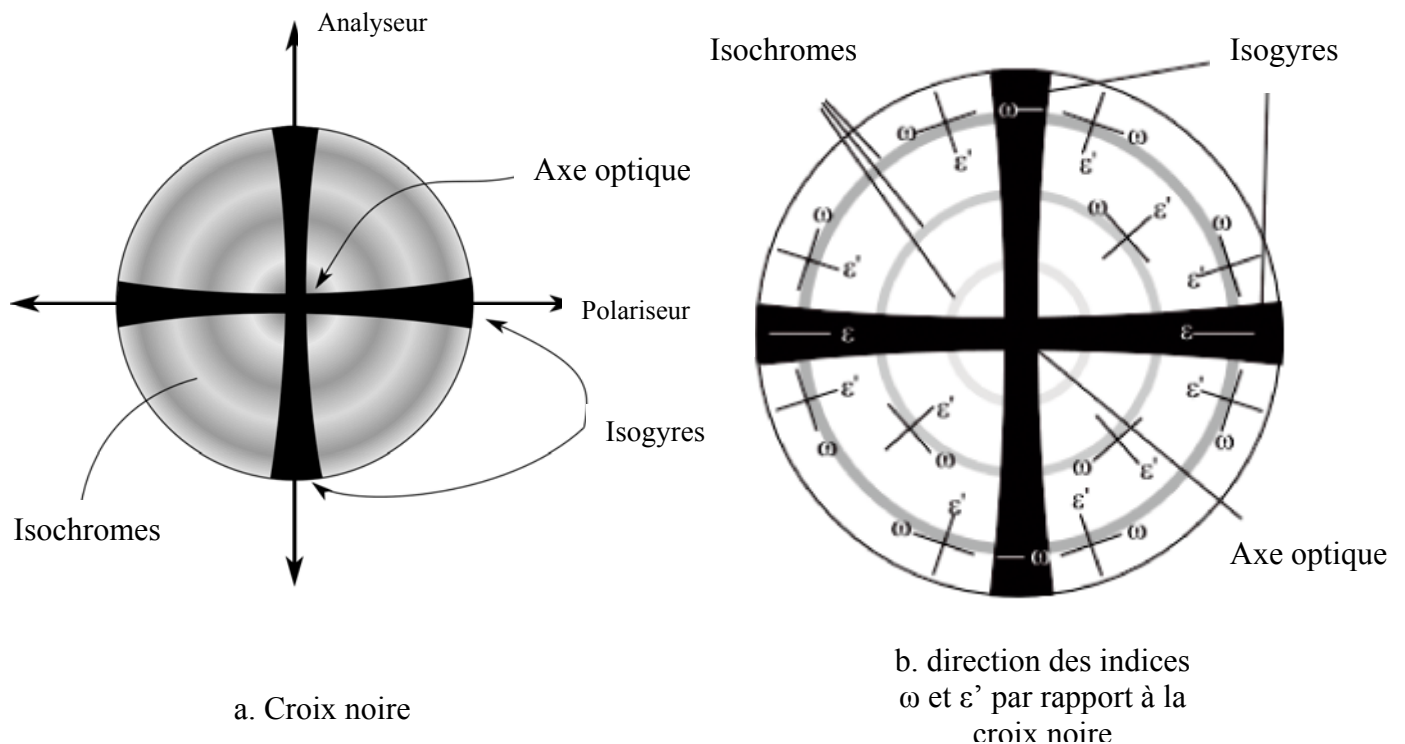
## 6.2. Figures d'interférences des minéraux uniaxes

Pour l'observation des figures d'interférences des minéraux uniaxes en lumière convergente, il faudra choisir une **section circulaire**. Rappelons que dans cette section, l'axe optique du minéral (axe c) est perpendiculaire à la section et donc à la platine du microscope. Cette section présentera une biréfringence minimum (l'idéal étant l'extinction totale) en LPA.

En lumière convergente, une telle section montrera une croix noire (isogyre) superposée sur des anneaux colorés d'égal retard (isochromes, visibles uniquement chez les minéraux très biréfringents). Les deux lignes noires de la croix sont orientées parallèlement à la direction des deux polariseurs du microscope. Le centre de la croix correspond au point où l'axe optique du minéral vient traverser le champ de l'image en lumière convergente (Figure 2.a).

Pour une section exactement perpendiculaire à l'axe optique (biréfringence nulle), la croix noire est centrée et reste invariable lors de la rotation de la platine du microscope.

La direction de vibration de l'indice  $\omega$  est concentrique par rapport au centre de la croix, tandis que celle de l'indice  $\varepsilon'$  est radiale par rapport au centre (figure 2.b).



**Figure 2 :** Figure d'interférence uniaxe centrée

## 6.3. Détermination du signe optique des minéraux uniaxes en lumière convergente

Pour déterminer le signe optique d'un minéral uniaxe en lumière convergente, on se sert des lames auxiliaires. Autour du centre de la croix noire, les isochromes présentent généralement une couleur d'interférence grise du premier ordre (biréfringence faible).

On insère une lame auxiliaire teinte sensible (550 nm) et on observe le changement de couleur autour du centre de la croix.

- Si le minéral est **uniaxe positif**, la couleur du quadrant **NE-SW** de la figure d'interférence vire au **bleu**, celle du quadrant **NW-SE** au **jaune** (Figure 3a).
- Si le minéral est **uniaxe négatif**, le contraire se produit. La couleur du quadrant **NE-SW** vire au **jaune**, celle du quadrant **NW-SE** au **bleu** (Figure 3a).

### *Explication*

Dans le quadrant NE-SW de la figure d'interférence uniaxe centrée, l'indice  $\varepsilon'$  est parallèle à la direction du rayon lent de la lame auxiliaire (Figure 3b).

- Si le minéral est uniaxe positif, alors  $\varepsilon' > \omega$  et donc  $\varepsilon'$  est le rayon lent. En insérant la lame auxiliaire il y'aura donc ajout des retards dans le quadrant NE-SW. La couleur grise du premier ordre près du centre de la croix correspond à un retard de 100 nm. Le retard de la lame teinte sensible est de 560 nm. Le retard total après insertion de la lame auxiliaire est donc : 100 nm + 560 nm = 660 nm (bleu du 2<sup>ème</sup> ordre). Dans le quadrant NW-SE, c'est l'indice  $\omega$  qui est parallèle à la direction du rayon lent de la lame auxiliaire. Dans le cas d'un minéral uniaxe positif,  $\omega$  est le rayon rapide. Il y'aura donc soustraction des retards après insertion de la lame auxiliaire : 560 nm – 100 nm = 460 nm (jaune du 1<sup>er</sup> ordre).
- Si le minéral est **uniaxe négatif**, alors  $\omega > \varepsilon'$  et le contraire se produit.  $\omega$  est le rayon lent et un ajout des retards se produira dans le quadrant NW-SE après insertion de la lame auxiliaire (bleu du 2<sup>ème</sup> ordre). Dans le quadrant NE-SW il y'aura soustraction des retards ( $\varepsilon'$  est le rayon rapide) et donc la couleur va virer au jaune du 1<sup>er</sup> ordre.

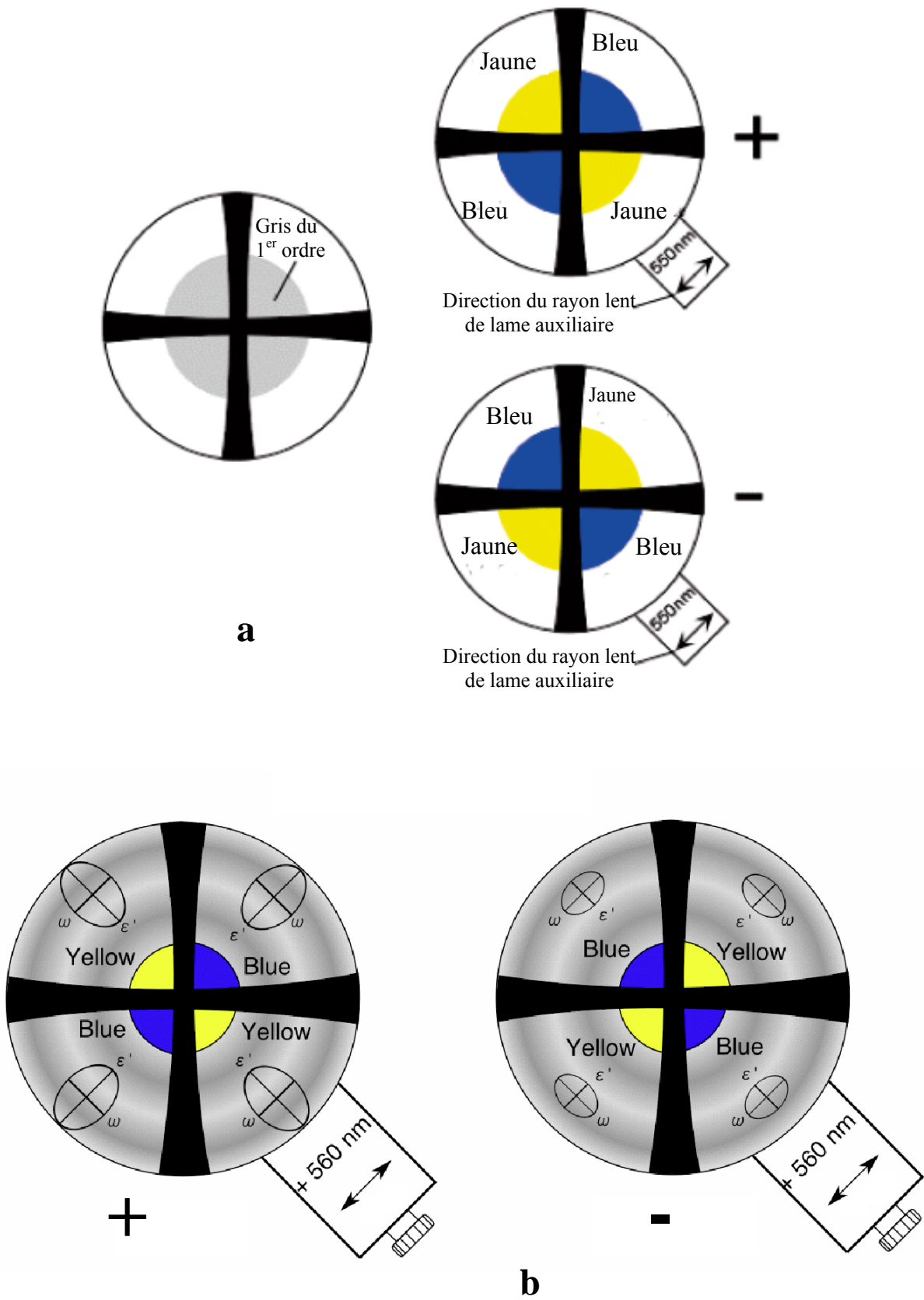
### **Remarque : Figures d'interférences uniaxes décentrées**

Dans la pratique, il est très rare de trouver des sections exactement perpendiculaires à l'axe optique. On trouve souvent des sections dont l'axe optique est légèrement oblique par rapport à la platine du microscope. Ces sections montrent des couleurs d'interférences d'un ordre très faible (gris du 1<sup>er</sup> ordre) en LPA.

En lumière convergente, ces sections montrent une croix décentrées (figure 4). Le centre de la croix s'écarte de plus en plus du centre du champ à mesure que l'axe optique devient plus oblique et peut même sortir du champ.

Lors de la rotation de la platine du microscope, le centre de la croix décrit un cercle autour du champ, mais les deux branches de la croix restent continuellement parallèles aux directions des deux polariseurs, donc à la croix de l'oculaire (figure 4).

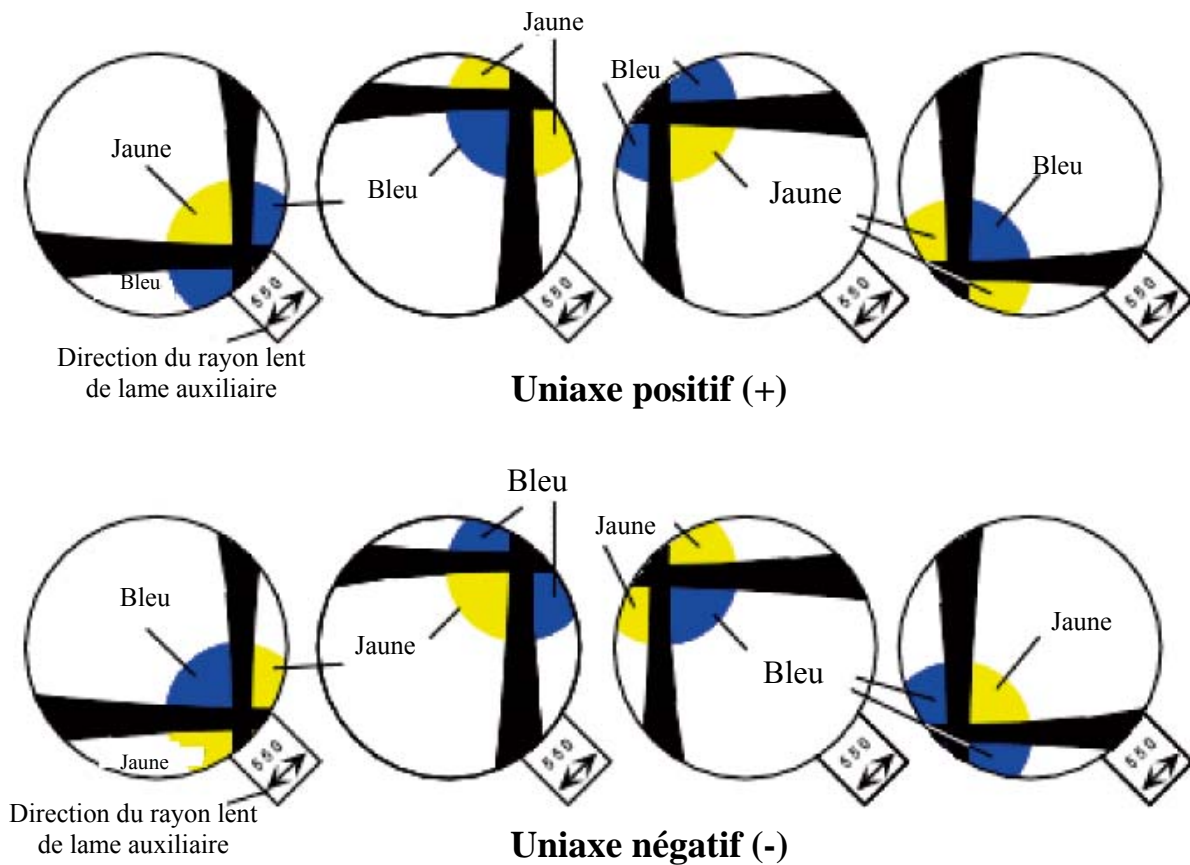
Pour déterminer le signe optique des minéraux uniaxes en utilisant les figures d'interférences décentrées, on procède de la même manière que dans le cas d'une croix noire centrée. Il suffit de repérer les deux quadrants de la croix qui sont encore visibles sur la croix décentrée (figure 5).



**Figure 3 :** Détermination du signe optique des minéraux uniaxes en lumière convergente



**Figure 4 :** Déplacement du centre de la croix noire au cours de la rotation de la platine du microscope dans le cas d'une figure d'interférence uniaxe décentrée



**Figure 5 :** Détermination du signe optique des minéraux uniaxes en lumière convergente : cas d'une croix décentrée.

## 6.4. Figures d'interférences des minéraux biaxes

En lumière convergente, les minéraux biaxes montrent des figures d'interférences composées de lignes courbes et non de lignes droites comme pour les minéraux uniaxes. En fonction de l'orientation de l'indicatrice de la section par rapport à la lumière incidente, on observe différents types de figures d'interférences.

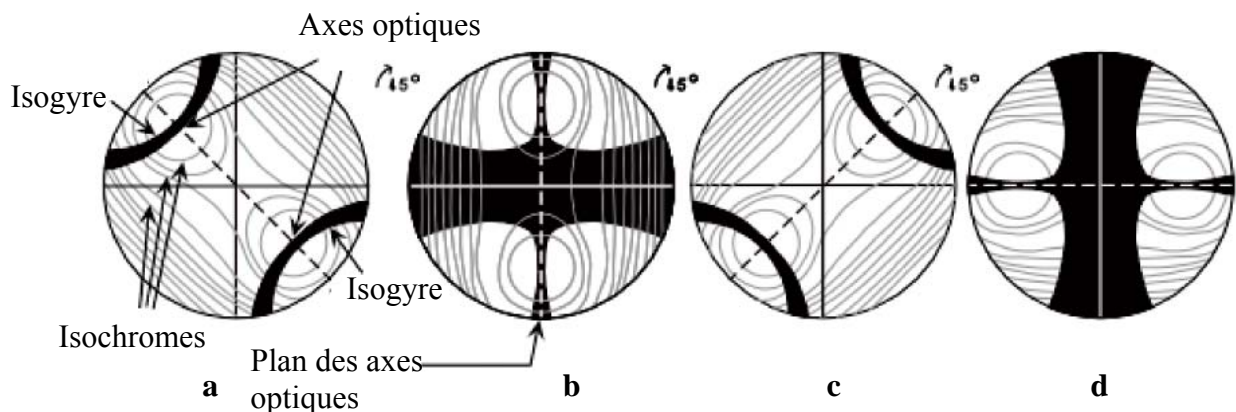
En pratique, deux sections sont couramment utilisées pour l'observation des minéraux biaxes en lumière convergente :

- Section perpendiculaire à la bissectrice aigue des axes optiques : on observe dans cette section les figures d'interférences de la bissectrice aigue (Bxa).
- Section perpendiculaire à un axe optique : on observera dans ce cas les figures d'interférences de l'axe optique (AO).

### 6.4.1. Les figures d'interférences de la bissectrice aigue (Bxa)

Ces figures sont obtenues dans le cas où la bissectrice aigue des axes optiques est perpendiculaire à la platine du microscope (l'axe Z si le minéral est biaxe positif, l'axe X si le minéral est biaxe négatif).

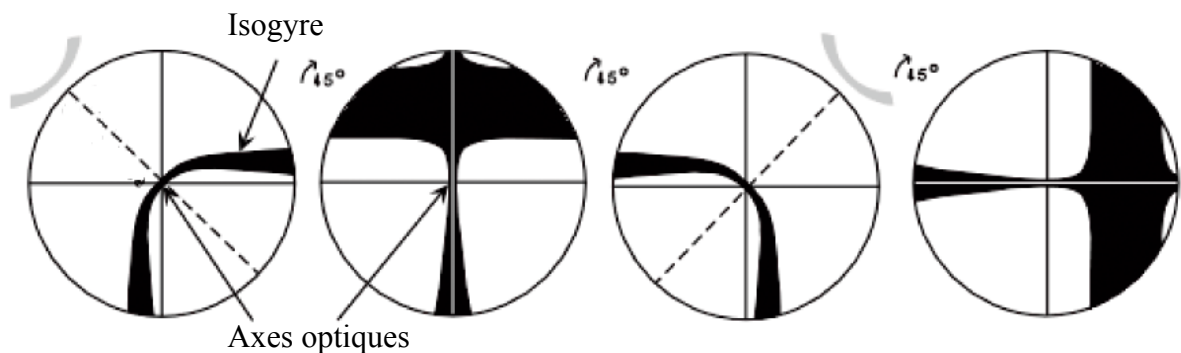
Les figures Bxa montrent deux courbes noires (isogyres) de formes hyperboliques ayant pour asymptotes communes les traces des directions de vibration des deux polariseurs du microscope. Quand le plan des axes optiques est à  $45^\circ$  des directions principales des deux polariseurs (la section est à  $45^\circ$  des positions d'extinction en LPA), les deux branches d'hyperbole présentent leur maximum d'écartement (Figure 6a). Après rotation de la platine, et dans la position d'extinction de la section en LPA, les deux branches d'hyperboles se confondent aux asymptotes et ont l'apparence d'une croix noire (Figure 6b). Si on continue à faire tourner la platine dans le même sens, la croix se dissocie à nouveau en deux branches d'hyperboles situées dans ce cas dans l'autre quadrant du champ de vision de l'image (Figure 6c). En continuant la rotation de la platine, une nouvelle croix noire se formera dans la position d'extinction de la section (figure 6d). Après rotation de la platine, on revient à la figure 6a. L'écartement maximum des deux branches d'hyperboles à  $45^\circ$  des positions d'extinction de la section en LPA dépend de la valeur de l'angle  $2V$ .



**Figure 6 :** Figures d'interférences de la bissectrice aigue (Bxa) des minéraux biaxes en lumière convergente au cours d'une rotation de  $180^\circ$  de la platine du microscope

### 6.4.2. Les figures d'interférences de l'axe optique (AO)

Ces figures sont obtenues dans le cas où l'un des deux axes optiques est perpendiculaire à la platine du microscope (sections circulaires). Dans cette section, on observera une seule branche d'hyperbole qui occupera le centre du champ de vision (Figure 7a). La deuxième branche d'hyperbole est située en dehors du champ de vision. Cette vue est visible lorsque la section est à  $45^\circ$  des positions d'extinctions en LPA. Si on effectue une rotation de la platine, une croix noire décentrée (Figure 7b) se formera à la position d'extinction en LPA (dans ce cas, le plan des axes optiques coïncide avec l'une des deux directions de vibration des polariseurs). En continuant la rotation de la platine dans le même sens, une nouvelle branche d'hyperbole centrée se formera, mais dans ce cas elle est située dans le deuxième quadrant du champ de vision (Figure 7c). Une nouvelle croix décentrée (Figure 7d) se formera en continuant la rotation de la platine de  $45^\circ$  (nouvelle position d'extinction).



**Figure 7 :** Figures d'interférences de l'axe optique (AO) des minéraux biaxes en lumière convergente au cours d'une rotation de  $180^\circ$  de la platine du microscope

Les figures d'interférences des minéraux biaxes sont utilisées essentiellement pour :

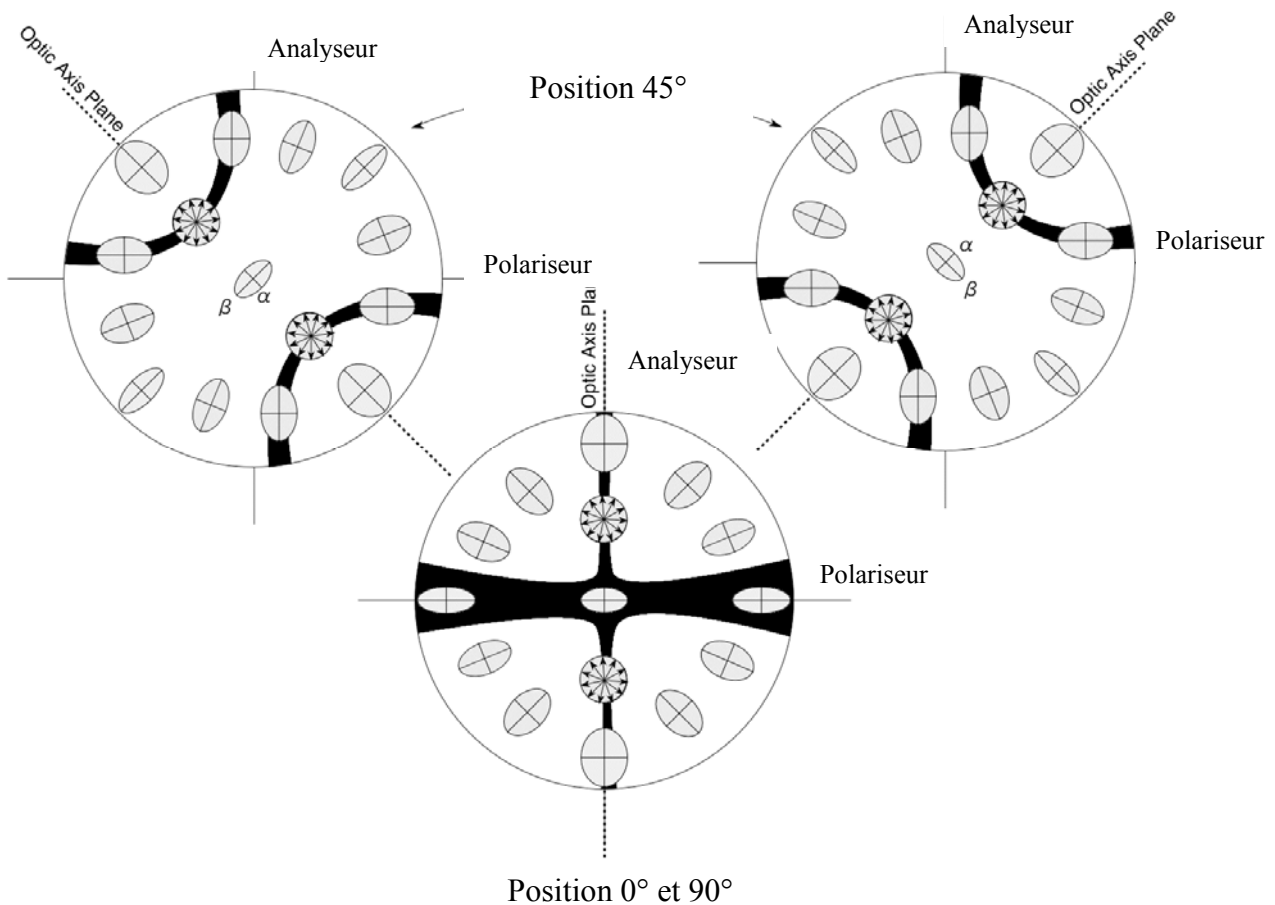
- Déterminer le signe optique du minéral.
- Estimer l'angle  $2V$ .

## 6.5. Détermination du signe optique des minéraux biaxes en lumière convergente

### 6.5.1. Par les figures d'interférences de la bissectrice aigue (Bxa)

Pour déterminer le signe optique d'un minéral biaxe en utilisant les figures d'interférences Bxa, on utilise les lames auxiliaires et on opère de la manière suivante :

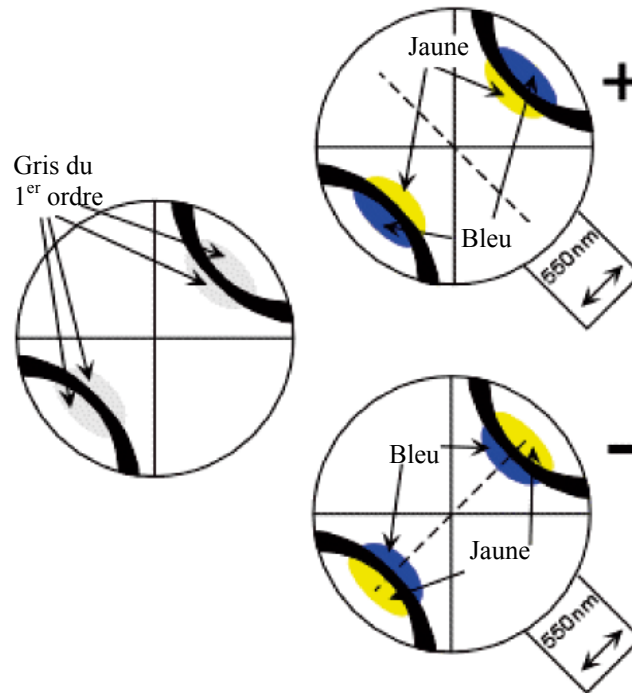
- Positionner les deux hyperboles dans le quadrant NE-SW. Ainsi, la direction de vibration du rayon lent de la lame auxiliaire est parallèle à la direction de vibration de l'un des indices  $\alpha$  ou  $\gamma$ . La figure 8 indique le positionnement de l'indicatrice biaxe dans une figure Bxa et notamment la direction de vibration des différents indices de réfraction.
- On repère ensuite une zone montrant une teinte de biréfringence gris du 1<sup>er</sup> ordre (retard = 100 nm). Ces zones se situent généralement autour de la trace de l'axe optique.



**Figure 8 :** Position de l'indicatrice biaxe dans une figure d'interférence Bxa

- On insère la lame auxiliaire teinte sensible (560 nm), puis on observe le changement de la couleur autour de la zone citée précédemment.
  - Si entre les deux branches d'hyperbole la couleur vire du **gris au jaune**, alors il y'a eu soustraction des retards. Donc le rayon situé entre les deux branches d'hyperbole correspond au rayon rapide (qui par définition correspond à l'indice  $\alpha$  chez les minéraux biaxes). Ainsi, la bissectrice aigüe de l'angle  $2V$  est l'axe Z. Le minéral est donc **biaxe positif** (Figure 9).
  - Si la teinte **grise** entre les deux branches d'hyperbole vire au **bleu**, il y'a eu donc ajout des retards et le rayon lent du minéral (qui correspond par définition à l'indice  $\gamma$ ) est parallèle au rayon lent de la lame auxiliaire. Dans ce cas, l'axe X est la bissectrice aigüe de l'angle  $2V$  et le minéral est **biaxe négatif** (Figure 9).

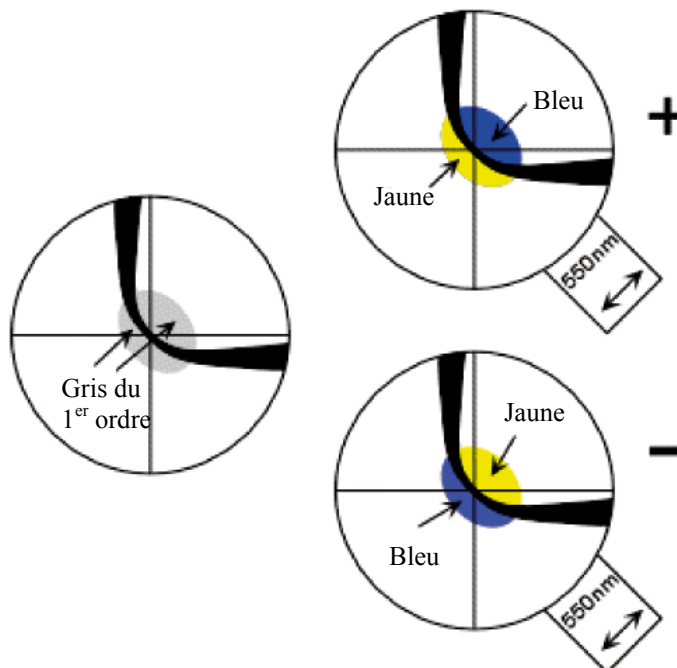




**Figure 9 :** Détermination du signe optique des minéraux biaxes en lumière convergente en utilisant les figures Bxa

### 6.5.2. Par les figures d'interférences de l'axe optique (AO)

La procédure est similaire que dans le cas des figures Bxa, il suffit de se rappeler que la deuxième branche d'hyperbole est située à l'extérieur du champ de vision (Figure 10).



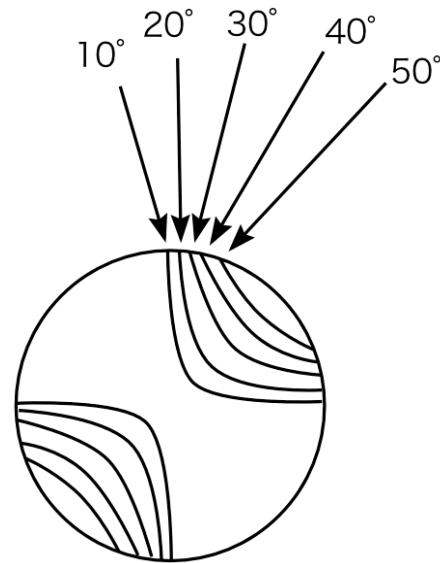
**Figure 10 :** Détermination du signe optique des minéraux biaxes en lumière convergente en utilisant les figures AO

## 6.6. Estimation de l'angle $2V$

### 6.6.1. Par les figures Bxa

L'estimation du  $2V$  s'effectue en déterminant l'écartement maximum des deux branches d'hyperboles, lorsque la section est orientée à  $45^\circ$  par rapport aux positions d'extinction en LPA.

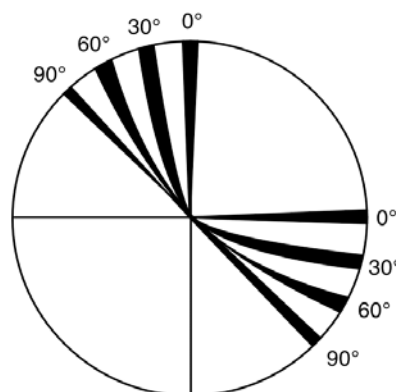
La figure 11 donne les différentes valeurs du  $2V$  en fonction de l'écartement des deux branches d'hyperbole.



**Figure 11 :** Estimation du  $2V$  à partir des figures Bxa

### 6.6.2. Par les figures AO

En lumière convergente, la convexité maximum de la branche d'hyperbole au centre de la section circulaire est fonction de l'angle  $2V$ . La convexité est grande lorsque l'angle  $2V$  est petit. La figure 12 montre l'allure de la branche d'hyperbole en fonction de l'angle  $2V$ . Ce diagramme a été tracé par Wright. Il est valable pour les minéraux dont l'indice de réfraction est voisin de 1,6. Pour les autres minéraux, ce diagramme donne un ordre de grandeur de la valeur cherchée.



**Figure 12 :** Estimation de l'angle  $2V$  d'après la courbure maximale de la branche d'hyperbole centrée (Section circulaire). D'après Wright.